การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษาการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการหลอมทองแดง

A Study of Natural Gas Utilization in Copper Melting Process

ณัฐเดช เฟื่องวรวงศ์ ธวัชชัย สิทธิสระดู่ พร้อมพันธ์ แสงแก้ว และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6637 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: fmespt@eng.chula.ac.th

Nattadate FUENGWORAWONG Tawatchai SITTISRADOO Prompun SANGKAEW and Sompong PUTIVISUTISAK
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok 10330 Thailand.
Tel: 0-2218-6637 Fax: 0-2252-2889

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาแนวทางการเปลี่ยนเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดงของบริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด จากเดิมที่เคยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงมาเป็นการใช้ก๊าซธรรมชาติแทน โดยได้ทำการเพิ่มความดันของระบบส่งก๊าซเพื่อให้อัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น และทำการปรับปรุงหัวเผาให้สามารถใช้กับก๊าซธรรมชาติ เพื่อที่จะทำให้ได้พลังงานในเตาหลอมทองแดงเทียบเท่ากับเมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่าสำหรับกำลังการผลิตเท่ากับ 22-25 ตันต่อชั่วโมง เมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมเพิ่มขึ้นจากเดิม 39.7% เป็น 49.5% ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการประหยัดเท่ากับ 3.48 ล้านบาทต่อปี

Abstract

This industry-related research concerns with the fuel substitution of liquefied petroleum gas (LPG) by the domestically produced natural gas (NG) in the copper melting process. The experiments, conducted at Bangkok Cable Co.Ltd. in Chachoengsao, involve pressure regulating in the gas-flow system and burner nozzle enlargement. At the matching copper production capacity of 22-25 ton/hr, the substitution by NG under the proposed conditions offers a 25% increase in thermal efficiency compared with that of the LPG (from 39.7% to 49.5%) or equivalent to a saving of 3.48 million bath per year.

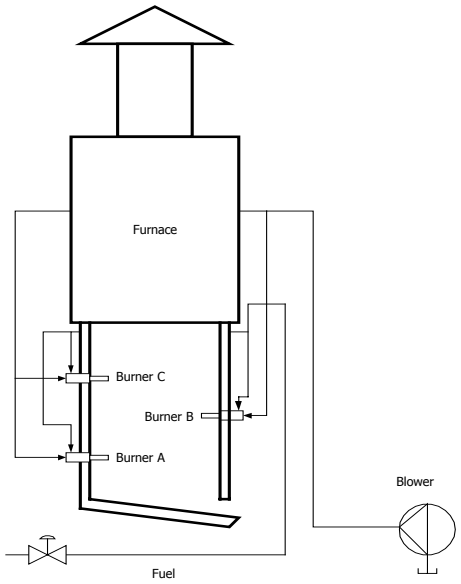
1. บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งซึ่งใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มีทั้งน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถ่านหิน เชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas หรือ LPG) ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas หรือ NG) เป็นต้น ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหลอมโลหะได้หันมาให้ความสนใจที่จะใช้เชื้อเพลิงก๊าซเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีในแง่ของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สะอาด ปราศจากเขม่า ซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติจึงถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมต่างๆอย่างแพร่หลาย สำหรับก๊าซทั้งสองชนิดนี้ การเลือกใช้ก๊าซธรรมชาติมีข้อดีก็คือ ในด้านของความปลอดภัยในการใช้งาน เนื่องจาก NG มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลจึงลอยตัวขึ้นข้างบน ไม่สะสมอยู่บนผิวพื้นดิน ในด้านของความสะดวกที่สามารถส่งก๊าซมาตามท่อได้ โดยไม่มีความจำเป็นต้องสร้างถังเก็บก๊าซ อีกทั้งในด้านของราคา NG ก็มีความได้เปรียบในเรื่องของราคาที่ถูกกว่า LPG แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่าความร้อน (Heating Value) ของก๊าซธรรมชาตินั้นมีค่าต่ำกว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวประมาณ 2.5 เท่า (HHV_{NG} = 36.94 MJ/Nm^3 และ HHV_{LPG} = 96.59 MJ/Nm^3) ดังนั้นการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้แทนระบบเดิมที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบส่งเชื้อเพลิง

ในงานวิจัยที่ผ่านมานั้น Keramida et al. [1] ทำการศึกษาวิจัยการแผ่รังสีความร้อนในเตาหลอมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้แบบจำลอง Discrete Transfer Model และ Six-flux Radiation Model โดยนำผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง พบว่าแบบจำลองทั้งสองให้ผลการทำนายที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง อีกทั้งแบบจำลอง

ทั้งสองยังง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และจากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าผลของการแผ่รังสีความร้อนมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนในเตาหลอม และวิธีการ Six-flux Model ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเตาหลอมที่ใช้ก๊าซอื่นๆเป็นเชื้อเพลิงได้ง่าย Krass et al. [2] ได้ศึกษาการออกแบบหัวเผาในหลายทิศทางการไหล เพื่อเหนี่ยวนำส่วนผสมเชื้อเพลิง พบว่าลักษณะของเปลวไฟจะเปลี่ยนแปลงตามส่วนผสมเชื้อเพลิงซึ่งจะแตกต่างกันในช่วงของส่วนผสมบางและส่วนผสมหนา ซึ่งลักษณะของเปลวไฟที่แตกต่างกันนี้ก็จะทำให้อุณหภูมิที่ได้เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย Papanikolaou and Wierzba [3] ได้ศึกษาถึงผลของลักษณะของหัวเผาและองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่มีต่อความมีเสถียรภาพของเปลวไฟชนิดแพร่ ซึ่งจากการทดลองใช้ Nozzle เป็นรูปวงกลมและวงรี และใช้ก๊าซ Methane เป็นเชื้อเพลิงปฐมภูมิและมีสารไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารไนโตรเจนเป็นสารเติม พบว่าผลของรูปร่างของ Nozzle, องค์ประกอบของเชื้อเพลิงและความเร็วของของผสมที่มีต่อ Blowout limits จะขึ้นอยู่กับกลไกของเปลวไฟ ไม่ว่าจะเป็นการยกตัวของเปลวไฟหรือเปลวไฟชิดขอบของหัวเผา โดยพฤติกรรมของเปลวไฟยกตัวที่ความเร็วสูงไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากรูปร่างของ Nozzle แต่จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ในขณะเดียวกันความมีเสถียรภาพของเปลวไฟชิดขอบขึ้นอยู่กับอิทธิพลของทั้งองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและรูปร่างของ Nozzle

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดงแทนการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งการทดลองครั้งนี้จะทำการทดลองกับเตาหลอมทองแดงของบริษัทสายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด โดยเตาหลอมทองแดงที่ใช้ในการทดลองเป็นเตาหลอมทรงกระบอกสูง (Shaft Furnace) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเตามีหัวเผารอบเตาซึ่งแบ่งเป็น 3 แถว คือแถว A มีหัวเผา 8 หัว แถว B มีหัวเผา 9 หัว และแถว C มีหัวเผา 9 หัว รวมทั้งหมด 26 หัว และความสามารถของเตาหลอมที่ใช้งานอยู่ปัจจุบันเท่ากับ 25 ตันต่อชั่วโมง เมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 1 เตาหลอมทองแดงที่ใช้ในการทดลอง

2. ทฤษฎี

1. เชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาหลอมทองแดง

1.1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีส่วนผสมของก๊าซโพรเพน (C_3H_8) และก๊าซบิวเทน (C_4H_{10}) เป็นหลัก ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดนี้ได้จากการนำก๊าซธรรมชาติมาผ่านกระบวนการแยกก๊าซ หรืออาจได้จากกระบวนการกลั่นของโรงกลั่นน้ำมัน ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศ ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น เมื่อนำมาบรรจุในภาชนะที่ความดันประมาณ 130 psig จะมีสภาพเป็นของเหลว และเนื่องจากมีคุณสมบัติที่หนักกว่าอากาศ เมื่อรั่วไหลจะอยู่เหนือพื้นดิน หากมีประกายไฟจะทำให้ลุกไหม้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมกลิ่นเพื่อให้ทราบเมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น

1.2 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas, NG)

ก๊าซธรรมชาติมีส่วนประกอบหลักคือสารไฮโดรคาร์บอน C_nH_{2n+2} ซึ่งเกิดจากการทับถมตัวของซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์จำพวกจุลินทรีย์จำนวนมากนับล้านปี ซากพืชและสัตว์เหล่านี้แปรสภาพเป็นก๊าซและน้ำมันเนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลกและสะสมอยู่ในชั้นใต้ดิน ก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยก๊าซหลายชนิดรวมกันอยู่ มีคุณสมบัติที่เบากว่าอากาศ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีสถานะเป็นก๊าซที่ความดันบรรยากาศ ก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 70-80 % ส่วนที่เหลือประกอบด้วยก๊าซอีเทน (C_2H_6) ก๊าซโพรเพน (C_3H_8) ก๊าซบิวเทน (C_4H_{10}) ก๊าซเพนเทน (C_5H_{12}) ก๊าซเฮกเซน (C_6H_{14}) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และ น้ำ (H_2O) นอกจากนั้นในบางครั้งอาจประกอบด้วยก๊าซอื่นๆอีก เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซฮีเลียม (He) ก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นต้น

2. การเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติ

สารที่ได้จากปฏิกริยาของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของ NG และ LPG จะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งในอากาศประกอบด้วยก๊าซออกซิเจนประมาณ 21% และก๊าซไนโตรเจนประมาณ 79% หรือสัดส่วน O_2:N_2 = 1:3.76 โดยปริมาตร ดังนั้นในกรณีของก๊าซมีเทน สามารถเขียนสมการเผาไหม้ได้ดังนี้

$$CH_4+2O_2 \rightarrow CO_2+2H \quad (1)$$

$$CH_4 + 2O_2 + 7.52N_2 \rightarrow CO_2+ 2H_2O + 7.52N_2 \quad (2)$$

อัตราการเผาไหม้ของอากาศที่ใช้ในการสันดาปหรือการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เทียบกับปริมาณของก๊าซ ที่เรียกว่า Stoichiometric ratio จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของก๊าซมีเทน 1 ส่วนจะใช้ก๊าซออกซิเจน 2 ส่วน ซึ่งก๊าซออกซิเจนจะถูกดึงจากอากาศ 9.52 ส่วน (ออกซิเจน 2 ส่วนและไนโตรเจน 7.52 ส่วน) ดังนั้น Stoichiometric ratio ของก๊าซมีเทนจะเท่ากับ 9.52 Vol air / Vol fuel แต่ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้พอดี โดยทั่วไปจึงพยายามควบคุมให้ปริมาณอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่า Stoichiometric ratio เล็กน้อยเพื่อให้มั่นใจว่าการเผาไหม้ที่เกิด

ขึ้นมีลักษณะสมบูรณ์ สำหรับก๊าซ LPG มีส่วนประกอบของก๊าซในอัตราส่วนโพรเพนและบิวเทน 50:50 ดังนั้นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะต้องใช้ปริมาณอากาศดังนี้

$$0.5C_3H_8 + 2.5O_2 + 9.4N_2 \longrightarrow 1.5CO_2 + 2H_2O + 9.4N_2 \quad (3)$$

$$0.5C_4H_{10} + 3.25O_2 + 12.2N_2 \longrightarrow 2CO_2 + 2.5H_2O + 12.22N_2 \quad (4)$$

จึงได้ปริมาณของอากาศที่ใช้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของก๊าซ LPG หรือ Stochiometric ratio เท่ากับ 27.37 Vol air / Vol gas

จะเห็นได้ว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ของ NG จะน้อยกว่า LPG แต่ในขณะเดียวกันค่าพลังงานความร้อนที่เกิดจากก๊าซ LPG จะมากกว่าก๊าซ NG ดังนั้นในการที่จะนำก๊าซ NG มาทดแทน LPG โดยให้อัตราของพลังงานความร้อนเท่าเดิมจะต้องเพิ่มปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ผ่านหัวฉีดหรือรูของหัวเผา โดยเพิ่มขนาดของหัวฉีดให้ใหญ่ขึ้น และในขณะเดียวกันต้องปรับปรุงระบบส่งเชื้อเพลิงโดยการปรับอุปกรณ์ปรับความดันเพื่อให้ปริมาณก๊าซ NG ที่ไหลผ่านทำการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กับอากาศ

3. การคำนวณความร้อนที่ผ่าน Nozzle หรือ Orifice ของหัวเผา

3.1 ตัวเลขวอบเบ (Wobbe Number หรือ Wobbe Index)

ตัวเลขวอบเบเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของการเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนของหัวเผากับคุณสมบัติของก๊าซ (ค่าความร้อนและความถ่วงจำเพาะของก๊าซ) ที่ความดันก๊าซคงที่ โดยทั่วไปแล้วหัวเผาสามารถรับก๊าซที่มีคุณภาพก๊าซเปลี่ยนแปลงได้ประมาณ $\pm$ 5 % ของค่าตัวเลขวอบเบ ในหัวเผาบางชนิดอาจยอมให้คุณภาพก๊าซเปลี่ยนแปลงได้ถึง $\pm$ 10 % โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบการเผาไหม้พลังงานความร้อนของก๊าซ เนื่องจากศักย์ความร้อนของก๊าซ (Potential Heat Contained in Gas) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความร้อนของก๊าซนั้นๆ สำหรับตัวเลขวอบเบ (*W*) สามารถนิยามได้ดังนี้ [4]

$$W = \frac{HV}{SG^{1/2}} \quad (5)$$

เมื่อ

HV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

SG = ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิง

3.2 ขนาดของ Nozzle หรือ Orifice ของหัวเผา [5]

ขนาดของ Nozzle ของหัวเผาสามารถคำนวณได้จากสมการของปริมาณก๊าซที่ไหลผ่านดังนี้

$$Q = 1658.5\,KA\left(\frac{h}{SG}\right)^{1/2} \quad (6)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณก๊าซที่ไหลผ่าน Orifice หรือ Nozzle (cu.ft./hr.)

K = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของ Orifice (มีค่า 0.85 - 0.95)

A = พื้นที่หน้าตัดของ Orifice (in^2)

h = ความดันต่างของ Orifice ขณะที่ก๊าซไหลผ่าน (in H_2O)

SG = ความถ่วงจำเพาะของก๊าซเทียบกับอากาศ (SG_{air} = 1)

3.3 ปริมาณความร้อนที่ได้จากหัวเผา (Burner Heat Rate) [5]

ปริมาณความร้อนที่ได้จากหัวเผา(Q_h) สามารถคำนวณได้จาก

$$Q_h = 1658.5\,K\,A\,W\,h^{1/2} \text{ (BTU/hr)} \quad (7ก)$$

หรือในหน่วย SI คือ

$$Q_h = 12.55\,K A_o W P_o^{1/2} \text{ (W)} \quad (7ข)$$

เมื่อ

K = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของ Orifice (มีค่า 0.85-0.95)

A_o = พื้นที่หน้าตัดของ Orifice (mm^2)

W = ตัวเลขวอบเบ (MJ/m^3)

P_o = ความดันแตกต่างของ Orifice (mbar)

ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนการใช้ก๊าซ LPG เป็นก๊าซธรรมชาติ ขณะที่ความดันก๊าซก่อนเข้า Nozzle ของ Burner คงเดิมโดยไม่มีการปรับแต่งอุปกรณ์ สามารถคำนวณขนาดของ Nozzle ที่ใช้กับก๊าซธรรมชาติได้จากสมการ (7) ซึ่งจะได้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 1.857 เท่าของขนาด Nozzle สำหรับก๊าซ LPG ในขณะเดียวกันก็ต้องเพิ่มอากาศให้มากขึ้นจากเดิมที่เคยให้กับก๊าซ LPG อีกประมาณ 10.5% โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบการเผาไหม้ ดังนั้นถ้าต้องการให้ความดัน (*P*) คงที่ จะต้องเปลี่ยน Nozzle diameter โดยคำนวณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางนี้ได้จาก [5]

$$D_{NG} = D_{LPG} \times \sqrt{\frac{W_{LPG}}{W_{NG}}} \quad (8)$$

แต่ถ้าต้องการให้ขนาด Nozzle (*D*) เท่าเดิม จะต้องเพิ่มแรงดันก๊าซ (*P*) [5] โดยที่

$$P_{NG} = P_{LPG} \times \frac{W_{LPG}^2}{W_{NG}^2} \quad (9)$$

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการปรับเส้นผ่านศูนย์กลางของ Nozzle ที่หัวเผา ทั้งนี้เพื่อที่ว่าจะได้ไม่ต้องทำการเพิ่มความดันของเชื้อเพลิงนั่นเอง

3.4 อุปกรณ์ปรับความดันก๊าซ (Regulator)

อุปกรณ์ปรับความดันก๊าซ เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้อัตราการไหลของก๊าซมีความเหมาะสมกับปริมาณก๊าซที่ต้องใช้ในระบบ โดยเมื่อต้องการปริมาณก๊าซน้อย อุปกรณ์ปรับความดันจะลดอัตราการไหลของก๊าซ แต่เมื่อต้องการปริมาณก๊าซมาก อุปกรณ์ปรับความดันก๊าซก็จะปรับให้อัตราการไหลของก๊าซสูงขึ้น รูปที่ 2 และ 3 แสดงอุปกรณ์ปรับความดันก๊าซและระบบการติดตั้ง ซึ่งอัตราการไหลของก๊าซ

ที่ผ่านอุปกรณ์ปรับความดันก๊าซสามารถที่จะหาได้จากสมการข้างล่าง [6]

$$Q_{scfh} = \sqrt{\frac{520}{GT}}\ C_g P_1 \sin\left[\left(\frac{59.64}{C_1}\right)\sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}}\right] \qquad (10)$$

เมื่อ

Q_{scfh} = อัตราการไหลของก๊าซ (scfh)

C_g = สัมประสิทธิ์ขนาดของก๊าซ

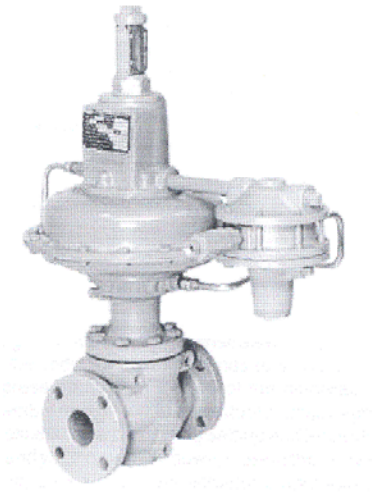
C_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว

P_1 = ความดันทางเข้าวาล์ว (psia)

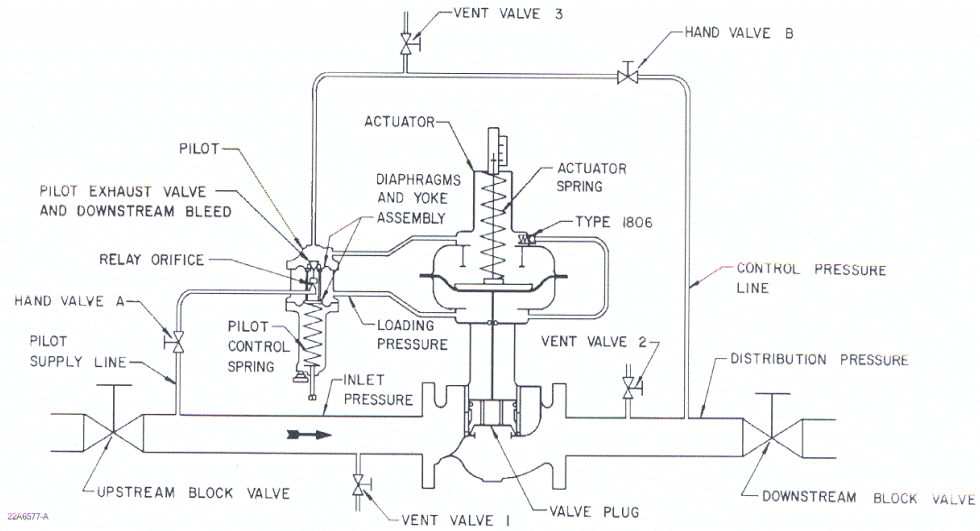
ΔP = ความดันตกคร่อมวาล์ว (psi)

G = ความถ่วงจำเพาะของก๊าซ (สำหรับอากาศมีค่าเท่ากับ 1)

T = อุณหภูมิทางเข้าวาล์วของก๊าซ (R)



รูปที่ 2 อุปกรณ์ปรับความดันก๊าซ [6]



รูปที่ 3 ระบบการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความดันก๊าซ [6]

4. ผลการทดลอง

การทำสมดุลความร้อนของเตาหลอมทองแดง

การทำสมดุลความร้อนเป็นการวัดค่าและคำนวณการใช้พลังงานของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง เพื่อจะได้ทราบถึงการใช้พลังงานความร้อนและประสิทธิภาพของเตาหลอมทองแดงในสภาวะปัจจุบันก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแสดงค่าพลังงานความร้อนในส่วนต่างๆที่เข้าและออกของเตาหลอมทองแดงที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเมื่อใช้ก๊าซ NG เป็นเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 1 และ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนและมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อปีระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับ NG แสดงอยู่ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การคำนวณสมดุลความร้อนของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ NG เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเมื่อใช้ LPG

รายการ	หน่วย	LPG		NG	
		พลังงาน	%	พลังงาน	%
ความร้อนเข้า					
ความร้อนของเชื้อเพลิง (Q_f)	MJ/hr	31,968	95.6	25,747	95.9
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้ (Q_a)	MJ/hr	1,483	4.43	1,095	4.08
รวม	MJ/hr	33,451	100	26,842	100
ความร้อนออก					
ความร้อนที่ให้กับทองแดง (Q_{cu})	MJ/hr	13,291	39.7	13,293	49.5
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย (Q_e)	MJ/hr	15,191	45.4	10,588	39.5
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น (Q_w)	MJ/hr	1,121	3.35	1,487	5.54
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา (Q_r)	MJ/hr	474	1.42	424	1.58
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Q_{co})	MJ/hr	396	1.18	795	2.96
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ (Q_t)	MJ/hr	2,978	8.9	255	0.95
รวม	MJ/hr	33,451	100	26,842	100

โดยที่ประสิทธิภาพทางความร้อน (η_{th}) สามารถคำนวณได้จากความร้อนที่ให้กับทองแดง ดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{Q_{cu}}{Q_f + Q_a} \times 100$$

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบมูลค่าราคาค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อปีระหว่างเชื้อเพลิง LPG กับ NG ที่กำลังการผลิต 22-25 ton/hr

รายการ	หน่วย	เชื้อเพลิง	
		LPG	NG
ค่าความร้อน	MJ/Nm^3	96.59	36.94
ปริมาณ O_2 ในผลิตภัณฑ์	PPM	<250	<250
ประสิทธิภาพทางความร้อน	%	39.7	49.5
ราคาเชื้อเพลิง	Baht/MMBTU	249.16	207.62
ปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้	MMBTU/year	30250	19524
ราคาค่าเชื้อเพลิง	Baht/year	7,536,993	4,053,558

จากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าเตาหลอมทองแดงสามารถใช้เชื้อเพลิง NG ได้อย่างมีประสิทธิผล โดยมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 39.7% เป็น 49.5% เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยความร้อนของ NG น้อยกว่า LPG ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ NG เป็นเชื้อเพลิง สามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงเป็นมูลค่า 3.48 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่ลดลงประมาณ 46% จากเดิม

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิศวกรรมในการช่วยแก้ปัญหาให้กับภาคอุตสาหกรรมให้มีขีดความสามารถในการแข่งขันสูงขึ้น ผลการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทางโรงงานผลิตสายไฟฟ้าคือ บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด สามารถที่จะเปลี่ยนเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดงจากก๊าซ LPG เป็น NG ได้อย่างมีประสิทธิผล โดยการเพิ่มความดันของระบบส่งก๊าซขึ้น และทำการเพิ่มขนาดของรูของหัวเผา ซึ่งพบว่าสามารถที่จะทำให้ทองแดงหลอมได้ตามปกติเหมือนกับที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง จากผลของการทดลองพบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซ NG เป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ 49.5% ในขณะที่เมื่อใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมทองแดงมีค่าเท่ากับ 39.7% และ ปริมาณออกซิเจนในทองแดงที่ได้อยู่ที่ 150-250 PPM ซึ่งเป็นไปตามคุณภาพที่โรงงานกำหนดที่กำลังการผลิตเทียบเท่ากับเมื่อใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากทบวงมหาวิทยาลัย และบริษัทสายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด ซึ่งคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Keramida, E.P., Liakos, H.H., Founti, M.A., Boudovis, A.G. and Markatos, N.C., Radiative Heat Transfer in Natural Gas-Fired Furnaces. International Journal of Heat and Mass Transfer 43 (2000): 1801-1809.

[2] Krass, B.J., Zellmer, B.W., Puri, I.K. and Singh, S., Application of Flamelet Profiles to Flame Structure in Practical Burners. Journal of Energy Resources Technology 121(1999): 66-72.

[3] Papanikolaou, N. and Wierzba, I., The Effects of Burner Geometry and Fuel Composition on the Stability of a Jet Diffusion Flame. Journal of Energy Resources Technology 119 (1997): 265-270.

[4] Pritchard, R., Guy, J.J., Connor, N.E. Industrial Gas Utilization : Engineering Principles and Practice. Bowker, Great Britain, 1977.

[5] ธนรักษ์ วาสนะสุขะ, ยุทธนา สิทธิสันต์ และ ปรีชา แก้วพันธ์. คู่มือการเปลี่ยนก๊าซ LPG มาเป็น NG. Petroleum Authority of Thailand, 2543.

[6] Fisher Controls. Instruction Manual: Direct-Acting Gas Regulators, 1974.